



Propuesta de un modelo para la implementación de biofactorías circulares de bioinsumos agrícolas en fincas cubanas

Proposal for a model for the implementation of circular biofactories for agricultural goods on Cuban farms

 Mayra Arteaga-Barrueta^{1*} and  José Antonio Pino-Roque²

¹Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, Facultad de Agronomía, Departamento de Química y Producción Agrícola, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

²Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Matemática Física, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: pino@unah.edu.cu

*Autora para correspondencia: Mayra Arteaga-Barrueta, e-mail: mayra@unah.edu.cu

RESUMEN: Este estudio propone un marco metodológico para la implementación de biofactorías de bioinsumos agrícolas económicas, circulares y autosostenibles en fincas familiares cubanas. Se analizan las condiciones endógenas de fincas locales y se revisan experiencias internacionales. Se identificó el estado actual de las fincas en la provincia Mayabeque y se propusieron acciones integradas para la creación de biofactorías bajo el modelo de economía circular. Se encontró que la implementación de biofactorías representa una oportunidad estratégica para el manejo responsable de recursos naturales, sustituyendo hasta un 90% de insumos externos. Se derivó un modelo circular-adaptativo para implementar biofactorías que contribuyan a la resiliencia socioecológica y la soberanía alimentaria. De acuerdo al contexto actual identificado en las fincas, se encontró que la implementación de las biofactorías de bioinsumos agrícolas, cierre de ciclo de nutrientes y autosostenibilidad económica ambiental para el panorama agrícola Nacional.

Palabras clave: reciclaje, residuos, economía circular, bioinsumos, nuevo modelo, gestión de residuos.

ABSTRACT: This study proposes a methodological framework for the implementation of economical, circular, and self-sustaining agricultural bioinput biofactories on Cuban family farms. The endogenous conditions of local farms are analyzed and international experiences are reviewed. The current status of farms in the Mayabeque province was identified, and integrated actions for the creation of biofactories under the circular economy model were proposed. It was found that the implementation of biofactories represents a strategic opportunity for the responsible management of natural resources, replacing up to 90% of external inputs. A circular-adaptive model was derived for the implementation of biofactories that contribute to socio-ecological resilience and food sovereignty. Based on the current context identified on the farms, the implementation of agricultural bioinput biofactories was found to provide economic and environmental self-sustainability for the national agricultural landscape.

Keywords: Recycling, Waste, Circular Economy, Bioinputs, New Model, Waste Management.

INTRODUCCIÓN

La implementación de biofactorías de bioinsumos bajo sistemas de gestión de residuos endógenos en las fincas es una estrategia para desarrollar una agricultura circular autosostenible bajo las condiciones de crisis económica mundial y el enfrentamiento al cambio climático actuales.

La reutilización de los residuos naturales constituye uno de los principales retos para alcanzar un mundo sostenible (OCDE-FAO, 2020). Con este fin aparece un nuevo paradigma con la aplicación de los principios de la economía circular a través del modelo de la biofactoría, orientado a pequeños productores locales para la valorización de los residuos naturales agroindustriales en bioinsumos con bajos costos, con prácticas agroecológicas

económicamente más eficientes y ambientalmente (Quiroga-Canaviri y Sánchez-Corcher, 2023).

De esta forma las biofábricas se convierten en la fuente principal de insumos para los cultivos, brindando autonomía y disminución de los costos al agricultor, propiciando la interacción armónica de los conocimientos físico- químico y biológicos de los investigadores con los ancestrales aportados por la sabiduría del campesino, lo que constituye la base de una productividad sustentable y medio ambiental sano. Se encuentran difundidas en el mundo entre los que se encuentran de las más avanzadas: Chile, Brasil, Colombia, México, Guatemala, Ecuador, Estados Unidos, España, Italia, para cumplir la misión de reciclar aguas residuales,

Recibido: 10/03/2025

Aceptado: 01/10/2025

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** M. Arteaga. **Curación de datos:** M. Arteaga. **Análisis formal:** M. Arteaga. **Investigación:** M. Arteaga, J. A. Pino. **Metodología:** M. Arteaga. **Supervisión:** M. Arteaga, J. A. Pino. **Validación:** M. Arteaga, J. A. Pino. **Redacción-borrador original:** M. Arteaga, J. A. Pino. **Escritura-revisión y edición:** M. Arteaga, J. A. Pino.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



generadoras de biocombustibles y energía térmica renovable introducidas en los procesos productivos; en la actualidad en menor extensión se instauran como un poder de cambio de paradigma en una nueva alternativa en la gestión sostenible de residuos valorados y llevados a nivel de cero para la generación de insumos agrícolas (Almulhim, 2024).

Restrepo y Hensel (2013), refieren que la transición a modelos de biofactorías establecidas en fincas fundamentalmente, es una tendencia global procedente que confiere oportunidades para mejorar la eficacia, reducir los costos a largo plazo y proteger el medio ambiente. Describen, además, que en ellas ocurren bioprocesos a través de la utilización de células vivas o componentes biológicos para transforman residuos naturales y disponer de alimentos, remedios sanos para nutrirlos y biocombustibles.

Así, la producción de agroinsumos se realiza desde y para la naturaleza para producir productos líquidos y sólidos listos para aplicar de forma edáfica y foliar para incrementar la productividad de los cultivos de interés del productor y acorde a sus condiciones, sin causar daño al medio ambiente Restrepo y Hensel (2013). Estos autores, son promotores de su desarrollo en fincas locales en países de América (Colombia, México, Brasil, Chile), dando a conocer sus experiencias alcanzadas en interacción con los productores y en la solución de grandes desafíos ambientales y de sostenibilidad desde la perspectiva del modelo de biofactoría reciclables que fortalecen el trabajo en colectivo.

En Cuba el modelo de biofábricas circulares integrales y sostenibles para la generación de insumos agrícolas, sería una alternativa que surge como una solución innovadora para transformas los sistemas productivos agrícolas autosostenibles. Durante años Cuba cuenta con una tradición en el trabajo con biofábricas en la obtención de vitroplantas Noriega (2024), en el reciclaje de aguas residuales (Díaz et al., 2022). En el campo de la producción de agentes de control biológicos como hongos entomopatógenos, nematodos y otros bioagentes para el control de plagas (Parrado et al., 2016).

Sin embargo, en lo que respecta específicamente a la producción de bioensumos agrícolas la situación se caracteriza por la presencia de experiencias aisladas, proyectos pilotos, innovadoras alentadoras de alto potencial y iniciativas locales y nacionales a nivel de los centros de investigación (INICA, INISAV, INCA), Universidades (UNAH, UCV), con dificultades de escalamiento industrial, escasez de materia prima que impiden una implementación generalizada y sistemática a los productores en las fincas (Fundora-Sánchez et al. 2024).

Esto constituye el principal reto actual como transición a producción estable y auto sostenible para el propio productor a nivel de fincas locales individuales o comunitarias, para la producción de insumos que garanticen la sostenibilidad productiva de cultivos sanos y contribución a la conservación del medio ambiente.

Ante estos antecedentes el objetivo del trabajo planteado: Proponer un marco metodológico para diseñar e implementar biofactorías económicas circulares autosostenibles para la producción de bioensumos agrícolas en el contexto de las fincas familiares individuales o comunitarias del sector agropecuario cubano. Basado en una revisión de experiencias documentadas, fundamentos, condicionantes y alternativas necesarias para la producción de bioensumos agrícolas, a través del reciclaje de residuos endógenos en fincas locales con el establecimiento de un modelo alternativo de biofactoría circular autosostenible y bajo las condiciones actuales de las fincas cubanas a nivel individual o comunitaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

El protocolo de trabajo desarrollado se fundamentó en la recopilación de la información a través de las técnicas de vigilancia tecnológica e informacional. Unido al estudio realizado en 57 fincas típicas locales de la provincia Mayabeque realizado por Fundora-Sánchez et al. (2024). Constituyendo la base para establecer la identificación y generalización de las condiciones endógenas de las fincas para implementar un modelo de biofábricas circulares y económicas para la agricultura campesina, familiar y comunitaria. Se derivó una propuesta metodología para el diseño e implementación de biofactorías locales módicas con modelo de economía circular, adaptadas a las condiciones típicas de las fincas cubanas de la provincia Mayabeque.

El diagnóstico completo del estado actual de las fincas en Cuba en sus condiciones agroecológicas, logísticas y de manejo de los residuos, consistió en la búsqueda de información a partir de fuentes externas en la recolección, análisis y difusión estratégicas de la información proveniente de diversas fuentes: monitoreo de bases de datos especializadas en plataformas especializadas de la agricultura (AGROSAVIA, FAOSTAT, HONTZA norma UNE 166006: 2011, buscadores Scielo, Google Scholar alertas), revistas científicas indexadas y patentes para identificar las mejores prácticas y tecnología disponibles en manejo sostenible de suelos, biodiversidad y tratamiento de residuos orgánicos. Paralelamente se analizó la información del sector logístico local y nacional para evaluar opciones de transporte, almacenamiento y costos según Martínez (2014) y San Juan y Rodríguez (2016).

Los estudios se fundamentaron además del aprendizaje, análisis, identificación de condiciones en las guías técnicas y manuales de modelos internacionales para la replicación de la implementación de biofábricas campesina, familiar y comunitaria:

- I. Guía para la implementación de biofábricas para la agricultura campesina, familiar y comunitaria ACFC, 2024, del colectivo de autores y la asistencia técnica de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo (AICS), Unión Europea (UE), Asociación Hortofrutícola de Colombia (Asohofrucol) (Monje et al., 2025).

- II. Guía Técnica: BIOFÁBRICAS. Producción de insumos biológicos para su uso en la caficultura. ANACAFE, Guatemala, 2022. Asistencia técnica de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Navarro, 2022).
- III. MMA-ONU. Medio Ambiente, (2021). Manual de bioinsumos para biofábricas de la Asociación de productores agroecológicos de las Islas de Maipo-APADIM. Chile (Lima *et al.*, 2025).
- IV. Manual BIOFÁBRICAS AGRO-INNOVA (2024). Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). UE, CATIE, IICA, 2024 (AGRO-INNOVA, 2024).
- V. Manual técnico: La BIOFÁBRICA Asociativa 2024. INCAS. UNIMINUTOS Colombia, 2025 ed. (Monje *et al.*, 2025).
- VI. Bioinsumos para la agricultura familiar. FAO 2017. México (Agroméxico, 2017).

Se identificaron tecnologías apropiadas con bajos presupuestos, métodos innovadores, procesos microbianos, experiencias mundiales y locales aisladas combinando información científica con experiencias de productores, proveedores y expertos; además de buscar soluciones accesibles a las condiciones endógenas de la generalidad de las fincas pequeñas locales cubanas en la provincia Mayabeque, como alternativa eficiente y sostenible del reciclaje de residuos.

Como fuentes internas: se realizó un barrido informacional mediante encuestas a los actores de las fincas locales y familiares de la provincia Mayabeque, registros económicos históricos de producción para conocer el estado actual de los flujos de trabajo y la generación real de desechos, para sentar las bases para una planificación estratégica informada y sostenible. Información tomada del estudio actualizado de 57 fincas típicas de la provincia Mayabeque realizado por Fundora-Sánchez *et al.* (2024). A partir del análisis DAFO estos autores estructuraron las debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas presentes. Esto constituyó en el diagnóstico la base para diseñar un plan de acción para mejorar la salud del suelo. Optimizar las rutas de transporte y reducir costos logísticos. Implementar un sistema de bajo costo compostaje -fermentación para la transformación de los residuos orgánicos identificados.

A partir del diagnóstico estratégico se establece el diseño y se proponen acciones integradas autosostenibles que permitan la creación e implementación de una biofactoría económica que haga realidad el modelo de economía circular, para el beneficio económico y ambiental bajo el desarrollo de una agricultura circular sostenible, recogida en una metodología con carácter metodológico, adaptativo y cognoscitivo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio de la literatura especializada mostró que las biofactorías circulares de bajo costo derivan soluciones innovadoras para transformar los sistemas

productivos agrícolas en Cuba, donde las limitaciones de insumos externos y la necesidad de sostenibilidad ambiental demandan enfoques alternativos, integrando a la producción agrícola con el aprovechamiento de los residuos orgánicos para crear ciclos cerrados de materiales y energía, basado en los principios de la economía circular.

En la provincia Mayabeque, Cuba, el 56% de los productores han recibido capacitación en biofertilizantes. A pesar de desafíos como la escasez de insumos, las biofactorías circulares podrían ser clave para la agricultura familiar.

Condiciones que se destacan para el establecimiento de biofactorías circulares de bioinsumos en Cuba, derivadas del análisis DAFO del estudio en 57 fincas de la provincia Mayabeque

El contexto Agroproductivo actual reveló que el 83,6% de los productores utilizan abonos orgánicos, mientras que el 81,8% aún dependen de fertilizantes minerales Fundora-Sánchez *et al.* (2024). Lo que refleja una transición parcial hacia modelos totalmente sostenibles. Según estos autores, las principales limitaciones identificadas incluyen: (I) plagas y enfermedades (76% de las fincas). (II) escasez de herbicidas (68%). (III) Falta de fertilizantes químicos y orgánicos (65%). (IV) problemas de fertilidad del suelo (59%). Limitaciones de mano de obra (42%). Desafíos que deben tenerse en cuenta en el diseño de biofactorías circulares como soluciones integradas mediante el ciclaje de nutrientes y el control biológico de plagas. En adición, el conocimiento de las potencialidades y el aprovechamiento de los residuos endógenos de las fincas que es escaso.

Según referencias de Casimiro-Rodríguez (2016); Casimiro-Rodríguez y Casimiro-González (2018); Casimiro-Rodríguez *et al.* (2020); Lezcano-Fleires *et al.* (2021); Fundora-Sánchez *et al.* (2024): Cuba cuenta con experiencia valiosa aislada y generalmente no totalizada en los sistemas productivos con producción de biogás a partir de residuos orgánicos, desarrollo de biofertilizantes, productos registrados, pequeñas plantas de biodiesel. Estas capacidades y experiencias pueden servir como base para escalar hacia modelos de biofactorías integrales.

En el marco político estratégico, Villalpanda (2024) refiere que se encuentran identificadas por parte del estado cubano 17 acciones claves para incrementar los principios de economía circular incluyendo: (I) energía solar fotovoltaica. (II) aprovechamiento de biomasa forestal y de cosechas. (III) producción de biogás (IV) introducción de vehículos eléctricos. En este marco es favorable el desarrollo de biofactorías circulares como parte de una estrategia nacional de sostenibilidad.

Propuesta Metodológica para la implementación de biofactorías circulares en fincas locales cubanas

El estudio de experiencias documentadas, fundamentos, condicionantes y alternativas encontradas, necesarias para la producción de bioinsumos agrícolas, a través de los reciclajes de residuos endógenos en fincas locales

con el establecimiento de un modelo de biofactoría circular y sostenible y bajo las condiciones actuales de las fincas cubanas, en específico en la de la provincia Mayabeque. El éxito se basa en comenzar de manera simple, validar el proceso y luego escalarlo; minimizando la inversión inicial y maximizando el uso de materiales disponibles en la finca.

Se derivó una metodológica que se propone para la implementación de biofactorías circulares en fincas locales cubanas, constituida por cinco fases fundamentales (Figura 1).

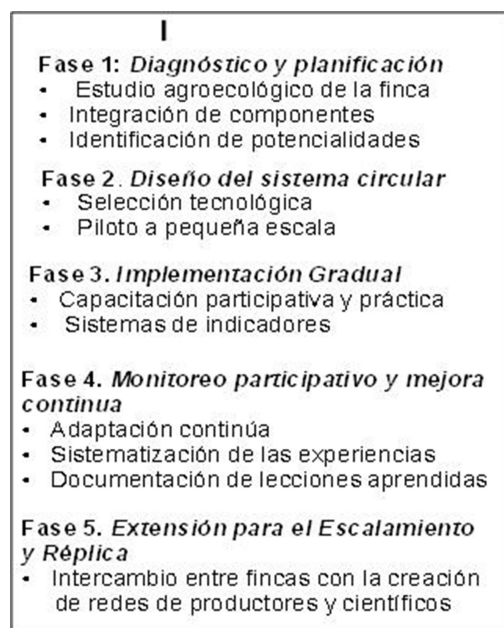


Figura 1. Procedimiento metodológico para la implementación de una biofactoría en fincas locales.

La fase 1: Diagnóstico y planificación es la etapa principal del proceso de estudio para la caracterización de la finca a través del estudio agroecológico, logístico y económico. Como parte de la recopilación de la información se aplica la metodología de investigación -Acción- participación (AIP). Se evalúa el flujo de materiales y energía.

Los tipos y volúmenes de residuos generados. Las necesidades de insumos externos. La capacitación previa de los productores ya sea participativa en talleres, eventos, entrevistas y práctica como actor principal del proceso.

La identificación de potencialidades para determinar si tiene suficiente materia prima constante para alimentar la biofactoría, contempla la caracterización de residuos a partir de un inventario con la identificación y catálogo de todos los residuos orgánicos generados en la finca: estiércol de animales ganado mayor y menor, residuos vegetales naturales, pulpas y rastrojos de cosechas. Se cuantificación con la estimación del volumen o peso generado (semanas, meses o años).

La caracterización de los residuos puede tener una base intuitiva: (I) como materiales verdes (nitrogenados), son húmedos, se descomponen rápido, poco estabilizados

(pasto verde, estiércol fresco y desechos de cocina). (II) materiales marrones (carbonatados), secos, fibrosos (paja, rastrojo seco, aserrín, hojas secas, cartón sin tinta)

- Para realizar el diagnóstico de reutilización de residuos
- Priorizar tecnologías apropiadas según: recursos endógenos y locales disponibles, capacidad de inversión, conocimientos existentes.
- Identificación de necesidades y mercado: (I) uso interno en la finca ¿que necesita la finca?, priorizando lo que más se va a usar. (II) venta local (autosostenibilidad), explorar si hay demanda en la localidad, siendo importante para generar ingresos y hacer el proyecto más sostenible.

La fase 2 contempla el diseño del sistema circular que permite el cierre del ciclo de los nutrientes y el aprovechamiento más eficiente y viable a partir de la integración de componentes con el diseño de los flujos que se conecten:

- Producción agrícola -residuos orgánicos - procesamiento - bioensumos - producción agrícola. - Energías renovables (solar, biogás) - procesamiento-aplicación energética.

En la selección de las tecnológicas de bajo costo se priorizan tecnologías validadas en Cuba como:

- I. Para abonos sólidos (compuestos), el compostaje a montón apilando las capas intercaladas entre materiales verdes y marrones en una zona sombreada, disminución del manejo de volteo con el establecimiento del incremento de la entrada de aire con ramas de árboles intercaladas y la altura y ancho de la pila. El vermicompostaje con la lombricultura para incrementar la calidad del humus. Establecer los nichos con cajas o lechos sencillos cercanos de las vaquerías, en las rutas intermedias con la biofactoría y/o cercanos a los alrededores de 'esta. Creación de composteras aceleradas para residuos vegetales.
- II. Para líquidos y bioles con el uso de biodigestor artesanal (con tubos de PVC, tanques o bolsas plásticas); preparación de bioles (fermentación anaeróbica) en tanques herméticos con válvulas de gases o incluso botellas plásticas desechables, donde se fermentan estiércoles, plantas, melaza y agua para producir biofertilizantes y bioplaguicidas líquidos.
- III. Para inóculos microbianos que son la base para acelerar el compostaje, enriquecer los suelos y controlar patógenos, donde se reproducen microorganismos de montaña (MM), con la captura de los microorganismos nativos de los árboles y se multiplican en arroz y melaza en baldes.

Para las lombrigueras y el desarrollo de los MM, es necesario hacer un diseño del flujo y espacio, asignando un área específica preferiblemente sombreada con rutas de acceso al agua, protegida de animales

y cerca de las biofactorías. El diseño del flujo de rutas y trabajo serían de zonas de recepción de residuos a zonas de compostaje/ lombrigueros a zonas de maduración y almacenamiento a zonas de empaque.

La fase 3 de implementación gradual comenzando con pequeñas escalas: Piloto a pequeña escala: (I) iniciar con un componente central de construcción de infraestructura básica con materiales endógenos o locales, reciclables y de bajo costo. Ejemplos: composteras con tanques plásticos, o cajones 1m x 1m x 1m de pallets o tablas, lombriceros con tinajas viejas perforadas para el drenaje.

La puesta en marcha del proceso para el compostaje comienza con una primera pila con la proporción básica: 3 partes de materiales marrones por 1 de verde, moje al 60% (como si fuera una esponja escurrida) y aeración con volteos cada 15 días o fijas con ventilaciones central, e intermedias con ramas de árboles para que se oxigenen las partes internas e intermedias de la pila. Para la lombricultura se prepara una cama de material semicompostado (15 días), alternando con cama fresca y agregando lombrices.

El monitoreo y aprendizaje de la temperatura verificable también puede ser por vía empírica, con la introducción de la mano en el centro de la pila donde debe sentir calor; en caso contrario es necesario añadir más material verde. Para la humedad al apretar un puñado de material debe gotear 1 o 2 gotas y lo hace con más, está muy húmedo, es necesario agregar material seco. En caso de no gotear está muy seco, es necesario agregar agua. Los olores a podrido sugieren exceso de nitrógeno, siendo necesario agregar material marrón o puede ser además falta de oxígeno voltear o introducir a la pila de más ramas para aumentar la entrada de aire.

Para biol en un tanque de 200 L mezclar 1/3 de estiércol fresco, 1/3 de material vegetal verde y 1/3 de agua, cerrado herméticamente con una tapa que tenga una manguera para liberar gases. Fermentar por 2-3 meses. Se puede integrar progresivamente otros elementos a medida de la positividad de los resultados.

Es importante documentar lecciones aprendidas que sirven de base para la rectificación de la metodología de trabajo y para la capacitación participativa y práctica: (I) con programas adaptados a niveles de conocimientos existentes. (II) experiencias (en la generalidad el 56% de productores tienen alguna formación en bioinsumos). (IV) enfoques en manejo de tecnologías circulares, control de calidad de bioinsumos y monitoreos de los impactos. El cumplimiento de estos aspectos conlleva a mantener un monitoreo participativo de mejora continua de un sistema de indicadores ecológicos de biodiversidad, salud del suelo y las aguas. Económicos en la reducción de costos, y el valor agregado de la reutilización de los materiales residuales. El factor social en la generación de empleo y la capacitación.

La adaptación continúa es un mecanismo para ajustar el sistema según el cambio en producción, la disponibilidad de los recursos, las condiciones climáticas y las necesidades de los cultivos que se van a sembrar y del suelo donde se siembren.

Se propone un modelo general, adaptativo, y específicamente para el caso de estudio de la provincia Mayabeque, basado en el estudio y generalización de información del estado actual de las fincas típicas locales de la provincia Mayabeque evaluadas por [Fundora-Sánchez et al. \(2024\)](#), que tienen como componentes claves: (I) unidad de biogás para procesar estiércol animal. (II) sistema de compostaje de residuos animales y vegetales. (III) producción de biofertilizantes y bioestimulantes líquidos (IV) integración con sistemas de riego existentes (85% fincas). (V) capacitación enfocada en brechas identificadas (47% sin formación en bioproductos).

Con este modelo propuesto se predicen beneficios en; (I) la reducción de costos aproximadamente hasta un 40%, en dependencia de los insumos externos que se introduzcan. (II) Mejora en fertilidad y la calidad de los suelos con la aplicación de los bioinsumos obtenidos en la propia finca (problema en 59% de fincas aproximadamente). (III) control biológico de plagas con el uso de biopreparados locales (IV) generación de energía renovable para operaciones agrícolas y domésticas.

La fase 4 de extensión para el Escalamiento, réplica y sostenibilidad se basa en la optimización y adaptación, basados en lo aprendido en la fase piloto, como ajustes de mezclas, tiempos y los diseños; puede incluir replicar en cantidad procesos. El control de la calidad es básico por lo que también se puede realizar primeramente pruebas empíricas, como la culminación del proceso de compostaje, está frío culminó el proceso de reacciones, esta desmenuzable al tacto, con olor a tierra forestal y no fermentado con homogeneidad en la composición (no se distinguen los materiales originales). Posteriormente pruebas de germinación (% de germinación), para ver su impacto en semillas como lechugas y/o rábano que son más sensibles y por tanto indicativas de calidad del compost utilizado. Si se afecta la germinación el compost puede estar inmaduro o muy concentrado no apto para utilizarlos aún.

La creación de un circuito económico para el autoconsumo interno de la finca, registrando los cambios (mejora de la productividad y calidad de las plantas y suelo, reducción de costos). La comercialización local del excedente puede ser otra vía de economizar proceso y obtener ganancias, ofreciéndolos a precio justo que cubra costos de mano de obra y materiales externos (melaza), su transformación; dando un valor de agregado como productos locales, ecológicos y hechos a mano.

La documentación y réplica con la sistematización de las experiencias, documentando en documentos internos de la finca y de lecciones aprendidas, con el intercambio entre fincas con la creación de redes de productores y científicos para difundir experiencias en tecnologías, en la vinculación con políticas públicas para su alineación con el Plan Nacional de Economía Circular de Cuba. Este conocimiento es invaluable para mejorar y para capacitar a otros, replicando el modelo de fincas vecinas.

Es importante considerar el fortalecimiento del apoyo al desarrollo de las biofactorías circulares autosostenibles locales en fincas a nivel individual o comunitario, como una alternativa de sostenibilidad, así como, la existencia de los programas de capacitación práctica con el establecimiento de redes de intercambio de experiencias entre productores y expertos y la creación de mecanismos de financiamiento adaptativos. En esta metodología el conocimiento formado a un nivel general de los productores es el activo más valioso con la capacitación del personal de la finca en estas técnicas que convierten a la biofactorías de bioensumos en un activo de conocimiento replicable y escalable, sentando las bases de convertirse en dentro demostrativo o rector para otras fincas, pudiendo ser además potencialmente generador de ingresos por capacitación.

CONCLUSIONES

- La metodología adaptativa propuesta, basada en la implementación gradual y la mejora continua, ofrece un camino viable para la instauración de biofactorías circulares de bajo costo en fincas cubanas, especialmente en la provincia Mayabeque. Esta metodología se adapta a las condiciones endógenas de cada finca y localidad.
- Representan una oportunidad estratégica para promover una transición hacia sistemas agroecológicos cíclicos más eficientes y autosostenibles, para reducir la dependencia de insumos externos y aprovechar los recursos locales disponibles, eliminando un costo externo y genera un ahorro tangible; estimados entre un 60-90%.
- Esta alternativa puede fortalecer la resiliencia socioecológica, crear empleos y valor de agregado autosostenibles en zonas rurales. Para su escalamiento es clave la consideración de las condiciones endógenas de cada localidad, la asistencia técnica y las políticas de apoyo financiero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRO-INNOVA: *Manual biofábricas AGRO-INNOVA*, Inst. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). UE, CATIE, IICA, San José, Costa Rica, publisher: San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). UE, CATIE, IICA, 2024.
- AGROMEXICO: *Bioinsumos para la agricultura familiar, [en línea]*, Inst. FAO, Roma Italia, Roma, Italia, 2017, Disponible en: <http://www.faomexico@fao.org/go/agricultura-México>.
- ALMULHIM, A.I.: "Toward a Greener Future: Applying Circular Economy Principles to Saudi Arabia's Food Sector for Environmental Sustainability", *Sustainability*, 16(2): 786, 2024, ISSN: 2071-1050.
- ANAYA, V.A.: "Manual guía de buenas prácticas de economía circular para una cadena alimentaria sostenible en Cuba", En: 2024, DOI: <https://doi.org/10.13140/RG2.2.24785.03683> ResearchGate.net/public/.
- CASIMIRO RODRÍGUEZ, L.: "Bases metodológicas para la resiliencia socioecológica de fincas familiares en Cuba", 2016.
- CASIMIRO RODRÍGUEZ, L.; CASIMIRO GONZÁLEZ, J.A.: "How to make prosperous and sustainable family farming in Cuba a reality", *Elementa: Science of the Anthropocene*, 6, 2018.
- CASIMIRO-RODRÍGUEZ, L.; CASIMIRO-GONZÁLEZ, J.A.; SUÁREZ-HERNÁNDEZ, J.; MARTÍN-MARTÍN, G.J.; NAVARRO-BOULANDIER, M.; RODRÍGUEZ-DELGADO, I.: "Evaluación de la resiliencia socioecológica en escenarios de agricultura familiar en cinco provincias de Cuba", *Pastos y Forrajes*, 43(4): 304-314, 2020, ISSN: 0864-0394.
- DÍAZ RODRÍGUEZ, Y.; MENDIOLA LAU, L.; GONZÁLEZ SUÁREZ, A.; NAVARRO SOSA, Y.; ACOSTA DÍAZ, S.; CHAO REYES, C.: "Biofiltración de efluentes líquidos de la industria petrolera con materiales naturales", *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(1): 12-24, 2022, ISSN: 1680-0338.
- FUNDORA-SÁNCHEZ, L.R.; MARTÍN-ALONSO, G.M.; MIRANDA-MORA, I.; RIVERA-ESPINOSA, R.A.; DUQUE, Y.R.: "Caracterización agroproductiva de fincas de la provincia Mayabeque, Cuba", *Pastos y Forrajes*, 47, 2024, ISSN: 0864-0394.
- LEZCANO-FLEIRES, J.C.; MIRANDA-TORTOLÓ, T.; OROPESA-CASANOVA, K.; ALONSO-AMARO, O.; MENDOZA-BERETERVIDE, I.; LEÓN-HIDALGO, R.: "Caracterización de la situación agroproductiva de una finca campesina en Matanzas, Cuba", *Pastos y Forrajes*, 44, 2021, ISSN: 0864-0394.
- LIMA, G.L.C.; DA SILVA LUZ, R.; DOS SANTOS VIEIRA, W.C.; DE SOUSA, M.P.; DOS SANTOS QUADROS, H.; DOS SANTOS, S.G.: "Bioinsumos: uma percepção a partir dos agricultores familiares", *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, 17(3): e7769-e7769, 2025, ISSN: 1989-4155.
- MARTÍNEZ, J.A.: "Desarrollo de una metodología de Vigilancia Tecnológica para la toma de decisiones: aplicación a las tecnologías multimedia", Publisher: ETSIS Telecomunicacion, plataforma especializada HONTZA norma UNE 166006: 2011, 2014.
- MMA-ONU: *Manual de bioensumos para biofábricas de la Asociación de productores agroecológicos de las Islas de Maipo-APADIM, [en línea]*, Inst. Ministerio del Medio ambiente-ONU, Santiago de Chile, Financiado en el marco proyecto GEFSEC ID 5135, Santiago de Chile, Chile, 35 p., Encargada a: Ecodaya consultores, 2021, Disponible en: <https://gefmontana.mma.gob.cl>.
- MONJE, J.; JARAMILLO, K.; CABRERA, C.: *Manual técnico: La BIOFÁBRICA Asociativa 2024*, Inst. INCAS. UNIMINUTOS Colombia, Colombia, 79 p., 2025.
- NAVARRO, Y.: "Guía Técnica: BIOFÁBRICAS. Producción de insumos biológicos para su uso en la caficultura", *CEDICAFE ANACAFE Guatemala*, 2022, ISSN: 2421-3700, Disponible en: <https://www.ana-cafe.org>.

- NORIEGA, A.: *Biofábricas: La experiencia cubana*, [en línea], Avance Agroindustrial 43-2 EEAOC ed., 44-46 p., 2024, ISBN: 0326-1131, Disponible en: <https://www.eeaoc.gob.ar>.
- OCDE-FAO.: *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2020-2029*, Ed. OCDE Publications Centre, 2020.
- QUIROGA-CANAVIRI, J.L.; SÁNCHEZ-CORCHERO, M.: "La Bioeconomía en armonía con la Naturaleza", *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 9(18): 2289-2317, 2023.
- PARRADO, A., GONZÁLVEZ, J., GONZÁLEZ, E., CASANUEVA, K: "Análisis de la utilización de agentes de control biológico en los sistemas de cultivo protegido en Cuba". *Fitosanidad* 20(1) 45-61, 2016, ISSN: 1362-300.
- RESTREPO, J.; HENSEL, J.: "El ABC de la agricultura orgánica", *Fosfitos y Panes de Piedra*, 2013.
- SAN JUAN, Y.I.; RODRÍGUEZ, F.I.R.: "Modelos y herramientas para la vigilancia tecnológica", *Ciencias de la Información*, 47(2): 11-18, 2016, ISSN: 0864-4659.